

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-075212

(43)Date of publication of application : 26.03.1993

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
G02B 6/12
G02F 1/35
H01L 31/14
H01S 3/108

(21)Application number : 03-236426

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 17.09.1991

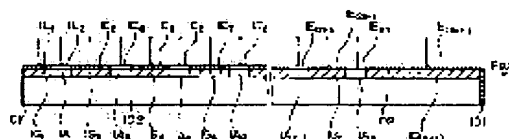
(72)Inventor : TSUDA HIROYUKI
NONAKA KOJI
KUROKAWA TAKASHI**(54) OPTICAL NONLINEAR AMPLIFYING ELEMENT****(57)Abstract:**

PURPOSE: To make the wavelengths of incoming and outgoing waves the same and amplify light nonlinearly by amplifying the light with a light amplifier after regenerating the waves with a saturable absorber.

CONSTITUTION: Waveguide paths consisting of amplifiers 1G1-1G(n+1) and saturable absorbers 1A1-1An are arranged on a semiconductor substrate 102.

The gain is saturated by lengthening the amplifier 1G(n+1) at the final state, whereby the output of an element has strong limiter property. Moreover, nonreflective structures 101 are arranged on the end face the light amplifier 1G1 at the first stage and the end face of the light amplifier 1G(n+1) at the last stage.

Currents blow in forward direction in the amplifiers 1G1-1G(n+1), and those perform nearly linear light amplification. Reverse voltage is applied to the saturable absorbers 1A1-1An, and those show nonlinear input properties. And the lights are amplified with the light amplifiers 1G1-1G(n+1), after the waves of high-speed optical signals are regenerated in the saturable absorbers 1A1-1An. Hereby, the lengths of the incoming and outgoing waves can be made nearly the same, and it becomes possible to amplify the light nonlinearly.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-75212

(43)公開日 平成5年(1993)3月26日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18		9170-4M		
G 0 2 B 6/12		B 7036-2K		
		H 7036-2K		
G 0 2 F 1/35	5 0 1	7246-2K		
H 0 1 L 31/14		A 7210-4M		

審査請求 未請求 請求項の数5(全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平3-236426

(22)出願日 平成3年(1991)9月17日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 津田 裕之

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 野中 弘二

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 黒川 隆志

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

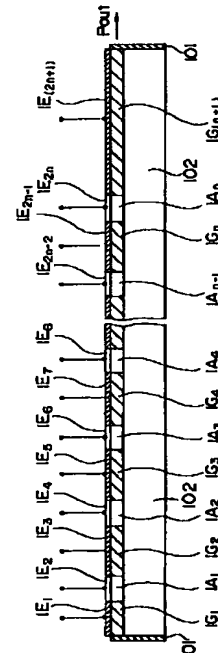
(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】 光非線形増幅素子

(57)【要約】

【目的】 高速動作が可能であり、かつ入射と出射の波長を同一の波長にすることが可能で、非線形に光増幅を行う光非線形増幅素子を提供する。

【構成】 半導体光導波路102～106中に光増幅部1G₁～1G_(n+1)と可飽和吸収領域1A₁～1A_nを交互に配置し、初段光増幅部1G₁および最終段光増幅部1G_(n+1)の各端面に無反射構造を配設する。可飽和吸収部で波形を整形して再生し、光増幅部で光増幅する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体光導波路中に光増幅部と可飽和吸収部とを交互に配置し、初段の光増幅部の端面および最終段の光増幅部の端面に無反射構造を配設したことを特徴とする光非線形増幅素子。

【請求項2】 請求項1記載の光非線形増幅素子において、前記光増幅部および前記可飽和吸収部の各々の活性層を多重量子井戸構造で構成したことを特徴とする光非線形増幅素子。

【請求項3】 請求項1または2記載の光非線形増幅素子において、前記最終段の光増幅部の長さを中間段の光増幅部の長さよりも長くしたことを特徴とする光非線形増幅素子。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかの項に記載の光非線形増幅素子の前段に分布帰還形半導体レーザを配置したことを特徴とする光非線形増幅素子。

【請求項5】 請求項1ないし3のいずれかの項に記載の光非線形増幅素子の前段に分布反射形半導体レーザを配置したことを特徴とする光非線形増幅素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光入出力特性が非線形である光非線形増幅素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】この種の従来の光非線形増幅素子の一例を図11に示す。この素子は、半導体レーザの電極を二分割し、その一方の電極の順方向注入電流を多くして利得部とし、他方の電極の順方向注入電流を少なくし可飽和吸収部として働かせる双安定レーザである。ここで、201は利得部電極、202はInGaAsPコンタクト層、203はInP(p)クラッド層、204はInGaAsPの活性層、205はInP(n)クラッド層、206はInP(n⁺)基板、207は下面電極、208は可飽和吸収電極、209は電極201および層202と203とがうがった分離溝である。

【0003】図12はこの素子の利得領域への注入電流 I_i 、対光出力の特性を示すグラフである。可飽和吸収部への注入電流 I_s を減らすことによってしきい特性($I_i = 6\text{mA}$ のとき)や双安定特性($I_i = 5\text{mA}$ のとき)が得られることがわかる。

【0004】この図で利得領域への注入電流 I_i を I_{i0} に設定し、 $I_s = 6\text{mA}$ とする。このときの光入力 P_{i0} と光出力 P_{o0} との特性を図示すると、図13のようになる。図13から明らかなように、この素子は光非線形増幅素子として機能する。

【0005】かかる従来の素子においては次のような問題点があった。第一に、動作応答時間が可飽和吸収体の活性層中のキャリア再結合寿命によって律速され高速動作ができない。第二に、出射波長は双安定レーザの共振器構造と利得スペクトルによって規定され一般に入射と

出射の波長は異なる。第三に、入力光強度が発振しきい値近傍でスイッチング時間が遅くなるクリティカルスローイングダウン現象を避けることは困難である。

【0006】従来の光非線形素子の他の例を図14に示す。この素子は、半導体レーザに光変調器を集積化したものである。ここで、LDは半導体レーザ、MDは光変調器である。211はInGaAsPコンタクト層、212はInP(p)クラッド層、213はInGaAsPガイド層、214はMQW活性層、215はInP(n)クラッド層、216はInP(n⁺)基板、217は下面電極、218は電極221と222との境の部分および層211および222とがうがった分離溝、219は無反射コーティング、220はグレーティング、221は変調部電極、222はレーザ部電極である。

【0007】この従来の素子においては、半導体レーザLDと光変調器MDを集積した際に、十分なコントラストを得るためには変調器MDの部分で100 μm 程度まで長くし、電圧振幅の大きい信号を印加する必要がある。このため以下の3点の問題点があった。第一に、変調部での損失が大きく強い出力を得られない。第二に、電極面積が大きくなり、すなわち、RC時定数が大きくなり、変調帯域が制限され易い。第三に、電圧振幅の大きい周波数の信号を生成するのは困難である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、このような背景の下になされたもので、高速動作が可能であり、かつ入射と出射の波長を同一の波長にすることが可能で、非線形に光増幅を行う光非線形増幅素子を提供することを目的とする。

【0009】さらにまた、本発明は、高速な強度変調光を得るために半導体レーザと一体化した光非線形増幅素子を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために、請求項1記載の発明は、半導体光導波路中に光増幅部と可飽和吸収部とを交互に配置し、初段の光増幅部の端面および最終段の光増幅部の端面に無反射構造を配設したことを特徴とする。

【0011】請求項2記載の発明は、請求項1記載の光非線形増幅素子において、前記光増幅部および前記可飽和吸収部の各々の活性層を多重量子井戸構造で構成したことを特徴とする。

【0012】請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の光非線形増幅素子において、前記最終段の光増幅部の長さを中間段の光増幅部の長さよりも長くしたことを特徴とする。

【0013】請求項4記載の発明は、請求項1ないし3のいずれかの項に記載の光非線形増幅素子の前段に分布帰還形半導体レーザを配置したことを特徴とする。

【0014】請求項5記載の発明は、請求項1ないし3

10

20

30

40

50

のいずれかの項に記載の光非線形増幅素子の前段に分布反射形半導体レーザを配置したことを特徴とする。

【0015】

【作用】本発明によれば、高速の光信号を可飽和吸収部で波形再生した上で光増幅部で光増幅するようにしたので、高速動作が可能であり、かつ入射と出射の波長を同一の波長にすることが可能で、非線形に光を増幅を行う光非線形増幅素子を提供することが可能である。

【0016】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を説明する。

【0017】図1は本発明の一実施例の構成図であって、ここで、 $1G_1 \sim 1G_{(n+1)}$ は増幅部、 $1A_1 \sim 1A_n$ は可飽和吸収部、 $1E_1 \sim 1E_{(2n+1)}$ は電極、101は無反射構造、102は半導体基板であり、半導体基板102上に増幅部 $1G_1 \sim 1G_{(n+1)}$ と可飽和吸収部 $1A_1 \sim 1A_n$ からなる導波路を配置する。最終段の増幅部 $1G_{(n+1)}$ を長くすることで利得飽和をさせ、素子の出力に強いリミッタ特性を持たせている。

【0018】図2は図1においてk番目の増幅部 $1G_k$ および可飽和吸収部 $1A_k$ の導波路方向への断面図である。ここで、103はコンタクト層、104はクラッド層、105はMQW活性層、106はクラッド層、107は下面電極、 $1G_k$ はk番目の増幅部、 $1A_k$ はk番目の可飽和吸収部、 $1S_{(2k-1)}$ は $(2k-1)$ 番目の電極分離構造、 $1E_{(2k-1)}$ および $1E_{2k}$ は、それぞれ、k番目の可飽和吸収部 $1A_k$ およびk番目の増幅部 $1G_k$ の上面電極層である。

【0019】k番目の増幅部 $1G_k$ には I_k の電流を流し、k番目の可飽和吸収部 $1A_k$ には $-V_k$ の逆方向電圧を印加する。

【0020】この構成では活性層105としてMQW構造を用いているため、逆方向電圧を印加することでQCSE (Quantum Confined Stark Effect) を起こして可飽和領域の吸収を制御している。

【0021】次に、本実施例の光非線形増幅素子の動作原理を図3～図6に従って説明する。

【0022】図3はk番目の増幅部 $1G_k$ および可飽和吸収部 $1A_k$ での光入出力特性を图示したものである。ここで、増幅部 $1G_k$ には順方向に電流が流れており、ほぼ線形な光増幅を行う。代表的な値として増幅率は300 ($1/cm$) 程度であり、可飽和吸収部 $1A_k$ に入る前に光強度は $100 kW/cm^2$ 程度まで増幅される。可飽和吸収部 $1A_k$ での吸収係数は $1500 (1/cm)$ 程度であり、増幅部 $1G_k$ での増幅を補償するために、増幅部 $1G_k$ に対して約 $1/5$ の長さである。可飽和吸収部 $1A_k$ では光強度が強いほど吸収係数が小さくなるので、図3に示したように非線形な入出力特性を示すことになる。

【0023】一般に、可飽和吸収体は光強度が $20 kW/cm^2$ 以上ないと有効に働かず、可飽和吸収部で光強度は急激に減少するので、本実施例において、可飽和吸収部 $1A_k$ の長さは $10 \mu m$ 程度、よって、増幅部 $1G_k$ の長さは $50 \mu m$ 程度（最終段の増幅部 $1G_{(n+1)}$ は利得飽和を起こすために $500 \mu m$ 程度の長さとする）である。

【0024】可飽和吸収部 $1A_k$ と増幅部 $1G_k$ の長さは増幅部 $1G_k$ での光入出力が線形でかつ可飽和吸収部 $1A_k$ での光入出力が非線形であるための光強度に対する条件と、実効的な増幅率および吸収係数は動作波長、材料、光導波路の閉じこめ係数で変化するが、中間段では増幅と吸収が補償するような長さの比の条件とから求められる。

【0025】図3に示したように一段の増幅部 $1G_k$ と可飽和吸収部 $1A_k$ では十分な非線形性が得られないので、これが多段に配置される。

【0026】図4は素子全体としての光入出力特性である。ここで、破線は最終段の増幅部 $1G_{(n+1)}$ の長さが十分でない場合を示し、増幅が飽和せずリミッタ特性が十分でない。最終段の増幅部 $1G_{(n+1)}$ を長くし増幅飽和を起こすようにすることで良いしきい特性が得られることになる。

【0027】図5はこの実施例の素子に崩れた波形の光信号 P_{in} を入力した場合の光出力 P_{out} の例である。素子の非線形性により波形再生されて信号のS/Nが改善されたのちに光増幅される。この場合、入射した信号と出射される信号はまったく同一の波長となる。

【0028】本発明においては、可飽和吸収領域には常に逆方向電圧が印加されているので、素子応答時間は可飽和吸収領域でのキャリア再結合寿命ではなくMQWにおけるバリア層のトンネル時間で律速されるため、高速に素子を応答させることが可能となる。しかもまた、可飽和吸収部の吸収係数を容易に制御可能なので非線形増幅素子のしきい値を容易に制御できる。

【0029】なお、図2に示すように、本実施例においては増幅部 $1G_k$ および可飽和吸収部 $1A_k$ の活性層105には同じMQW層を用いているが、異なるバンドギャップを持つMQW層を用いても良いことは言うまでもない。あるいはまた、MQW構造にワニエ励起子を生じるMQW層としてバリア層を薄くしたMQW活性層を用いることもできる。この場合には逆方向電圧を可飽和吸収体に印加した場合にバンド端が短波側にシフトする。そのため、動作波長を可飽和吸収部の吸収スペクトルのバンド端近傍の波長として、可飽和吸収部の非線形性を大きくした上で、その波長での増幅部の利得を大きく設定することが容易となる。

【0030】図6にこの一例を示す。この場合、利得部の利得スペクトルの最大値は波長 $1.53 \mu m$ にある。可飽和吸収部の吸収スペクトルは通常のバリア層の厚い

MQWの場合には、逆方向電圧印加にともなって破線で示したように長波側に移動する。このため利得の大きい波長 $1.53\mu\text{m}$ では、バンド端が遠ざかるので可飽和吸収部の非線形性が小さくなる。ところが、ワニエ励起子を生じるMQWの場合には波長 $1.53\mu\text{m}$ において大きな利得かつ大きな非線形性を得ることができる。すなわち、可飽和吸収部の少ない段数で光非線形増幅素子を構成することができる。

【0031】もちろん、バルク活性層あるいは歪量子井戸活性層を用いることができるのは言うまでもない。あるいはまた、GaAs系半導体材料でも同様の構成ができることは言うまでもない。

【0032】図7は本発明の具体的な実施例の構成図であって、素子の外観を示す斜視図である。図8はこの具体的な実施例において導波路の軸上での断面図である。図9はこの具体的な実施例において、導波路に垂直な方向の断面図である。この例では4段の可飽和吸収部と5段の利得部とから光非線形増幅素子が構成されている。

【0033】ここで、 $5E_1 \sim 5E_5$ は電極、 $5O_2$ はInP(n')基板である。 $5G_1 \sim 5G_5$ は増幅部、 $5A_1 \sim 5A_5$ は可飽和吸収部、 $5O_1$ は無反射コーティング層、 $5O_2$ はInP(n')基板、 $5O_3$ はInGaAsPコンタクト層、 $5O_4$ はInP(p)クラッド層、 $5O_5$ はInGaAs(70オングストローム)/InP(30オングストローム)の30周期からなるMQW活性層、 $5O_6$ はInP(n)クラッド層、 $5O_7$ は下面電極、 $5S_1 \sim 5S_5$ は電極分離溝である。 $5O_9$ はInP(p)層、 $5O_{10}$ はInP(n)層、 $5O_{11}$ はInP(p)層である。

【0034】可飽和吸収部 $5A_1 \sim 5A_5$ の各長さは $10\mu\text{m}$ 、前段の4段の利得部 $5G_1 \sim 5G_4$ の長さは $50\mu\text{m}$ 、最終段の利得部 $5G_5$ の長さは $400\mu\text{m}$ である。

【0035】なお、本実施例ではpn型の埋め込み構造を用いているが、鉄ドーパ高抵抗InPによる埋め込み、リッジ導波構造などの他の電気・光閉じこめ構造を用いることができることは言うまでもない。

【0036】さらにまた、電極分離はエッチングにより溝を構成して行っているが、イオン注入による電極分離も可能であることは言うまでもない。

【0037】図10は本発明の別の具体的な実施例の構成図であり、半導体レーザ光源と光非線形増幅素子とを一体に集積したものである。ここで、 $6L$ は分布帰還形半導体レーザ、 $6P$ は光非線形増幅素子である。 $6G_1 \sim 6G_5$ は増幅部、 $6A_1 \sim 6A_5$ は可飽和吸収部、 $6E_1 \sim 6E_5$ は電極、 $6O_1$ は無反射コーティング層、 $6O_2$ はInP(n')基板、 $6O_3$ はInGaAsPコンタクト層、 $6O_4$ はInP(p)クラッド層、 $6O_5$ はInGaAsPクラッド層、 $6O_6$ はInGaAs(70オングストローム)/InP(30オングストロ

ーム)の30周期からなるMQW活性層、 $6O_7$ はInP(n)クラッド層、 $6O_8$ は下面電極、 $6O_9$ はグレーティング、 $6O_{10}$ はグレーティングピッチシフト部、 $6S_1 \sim 6S_5$ は電気分離溝である。長さについては、半導体レーザ $6L$ が $300\mu\text{m}$ 、可飽和吸収部 $6A_1$ が $20\mu\text{m}$ 、可飽和吸収部 $6A_2 \sim 6A_5$ が $10\mu\text{m}$ 、増幅部 $6G_1 \sim 6G_4$ が $50\mu\text{m}$ 、最終段増幅部 $6G_5$ が $400\mu\text{m}$ 、分離溝 $6S_1 \sim 6S_5$ が $5\mu\text{m}$ である。

【0038】この素子では高速の電気変調信号が電極 $6E_2$ 、すなわち可飽和吸収部 $6A_1$ に印加される。ここで、分布帰還形半導体レーザ $6L$ から出射された光は、わずかに変調され光非線形増幅素子を透過するにつれて波形整形され、コントラストの大きい変調信号光となって出力される。従来の技術に比較して電気的変調を印加する導波路長が短く(電極面積が小さくなる)、印加電圧振幅が小さくとも大きいコントラストを得ることができる。このためRC時定数による周波数制限を受けにくく、変調用の電気パルスの生成が容易である。しかもまた、損失が保証されるため、大きな光出力が得られる。

【0039】本実施例では半導体レーザとして分布帰還形半導体レーザを用いたが、分布反射形半導体レーザを用いることもできるのは言うまでもない。さらにまた、半導体レーザと光非線形増幅素子の活性層およびクラッド層は共通であるとしたが、各々にバンドギャップの異なる活性層およびクラッド層を用いることもできることは言うまでもない。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、高速の光信号を可飽和吸収部で波形再生した上で光増幅部で光増幅するようにしたので、高速動作が可能であり、かつ入射と出射の波長を同一の波長にすることが可能で、非線形に光増幅を行う光非線形増幅素子を提供することが可能である。

【0041】しかもまた、本発明光非線形増幅素子は小型にモジュール化できるため、取扱も容易となるとともに、他の装置への組み込みも可能となるなどの利点があり、高速の光信号処理装置、光信号伝送装置等に使用することができる。

【0042】加えて、本発明光非線形増幅素子を半導体レーザと集積化することで高速の強度変調用光源を構成することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における実施例の構成を示す模式図である。

【図2】本発明における実施例の導波路の一部分の断面図である。

【図3】本発明におけるk番目の増幅部と可飽和吸収部の光入出力特性図である。

【図4】本発明における実施例の光入出力特性図である。

【図5】本発明における実施例の光信号入力と出力とを対比して示す信号波形図である。

【図6】本発明における可飽和吸収体の吸収スペクトルの説明図である。

【図7】本発明の具体的な実施例の構成図である。

【図8】図7に示した具体的実施例の導波路軸方向の断面図である。

【図9】図7に示した具体的な実施例の導波路に垂直な方向の断面図である。

【図10】本発明の別の具体的な実施例の構成図である。

【図11】従来例の構成を示す模式図である。

【図12】従来例の注入電流対光出力特性図である。

【図13】従来例の光入出力特性図である。

【図14】別の従来例の構成を示す模式図である。

【符号の説明】

1G₁ ~ 1G_(n+1) 増幅部

1A₁ ~ 1A_n 可飽和吸収部

101 無反射構造

102 半導体基板

103 上面電極層

104 コンタクト層

105 クラッド層

106 MQW活性層

107 クラッド層

108 下面電極

109 光導波路

1G_k k番目の増幅部

1A_k k番目の可飽和吸収部

1S_(2k-1) (2k-1)番目の電極分離溝

201 可飽和吸収部電極

202 InGaAsPコンタクト層

203 InP(p)クラッド層

204 InGaAsPの活性層

205 InP(n)クラッド層

206 InP(n⁺)基板

207 下面電極

208 増幅部電極

209 分離溝

LD 半導体レーザ

MD 光変調器

211 InGaAsPコンタクト層

212 InP(p)クラッド層

213 InGaAsPガイド層

214 MQW活性層

215 InP(n)クラッド層

216 InP(n⁺)基板

217 下面電極

218 分離溝

219 無反射コーティング

220 グレーティング

10 221 変調部電極

222 レーザ部電極

5E₁ ~ 5E_n 電極

502 InP(n⁺)基板

5G₁ ~ 5G_n 増幅部

5A₁ ~ 5A_n 可飽和吸収部

501 無反射コーティング層

502 InP(n⁺)基板

503 InGaAsPコンタクト層

504 InP(p)クラッド層

20 505 MQW活性層

506 InP(n)クラッド層

507 下面電極

5S₁ ~ 5S_n 電極分離溝

509 InP(p)層

510 InP(n)層

511 InP(p)層

6L 分布帰還形半導体レーザ

6P 光非線形増幅素子

6G₁ ~ 6G_n 増幅部

30 6A₁ ~ 6A_n 可飽和吸収部

6E₁ ~ 6E_n 電極

601 無反射コーティング層

602 InP(n⁺)基板

603 InGaAsPコンタクト層

604 InP(p)クラッド層

605 InGaAsPクラッド層

606 MQW活性層

607 InP(n)クラッド層

608 下面電極

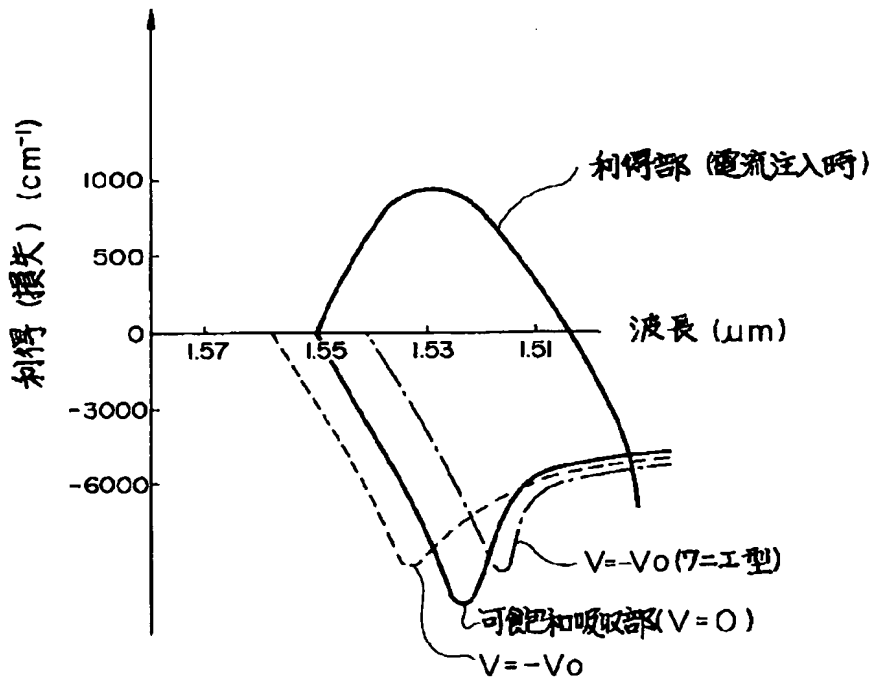
40 609 グレーティング

610 グレーティングピッチシフト部

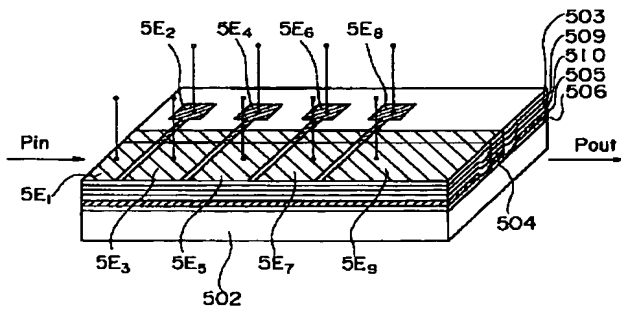
6S₁ ~ 6S_n 電極分離溝

The diagram shows two signals over time. The horizontal axis is labeled '時刻 (ns)' with tick marks at 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7. The top signal, labeled 'Pin', consists of four pulses. The first pulse is centered at approximately 1.2 ns, the second at 4.2 ns, the third at 4.8 ns, and the fourth at 7.2 ns. The bottom signal, labeled 'Pout', also consists of four pulses. The first pulse is centered at approximately 1.2 ns, the second at 4.2 ns, the third at 4.8 ns, and the fourth at 7.2 ns. The pulses in Pout are slightly narrower and occur at the same time as the pulses in Pin.

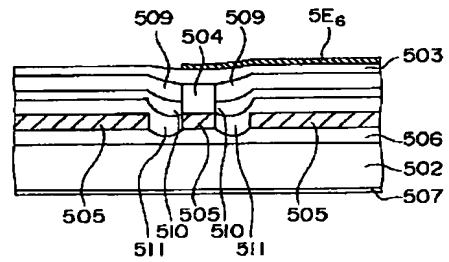
【図6】



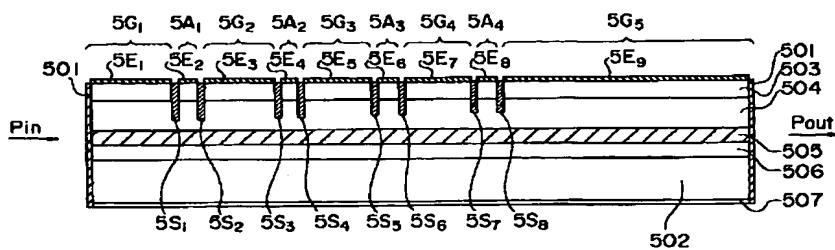
【図7】



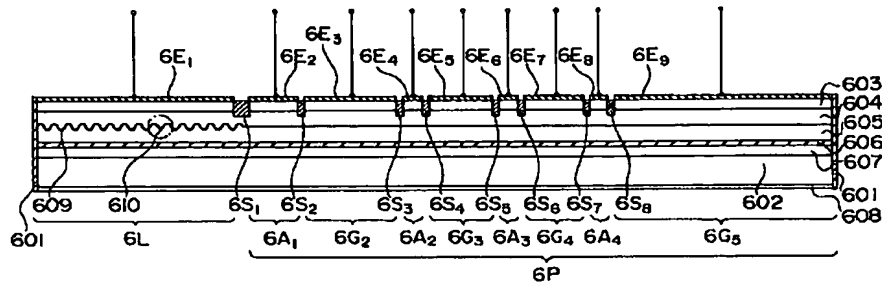
【図9】



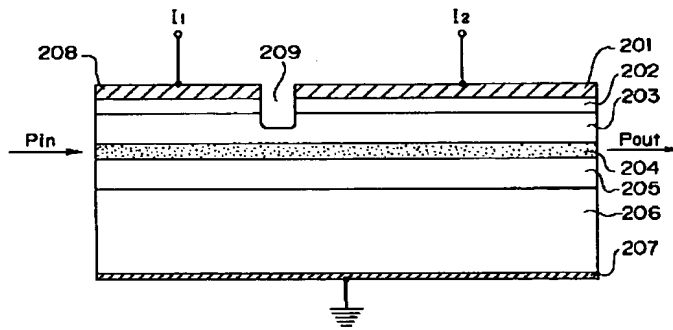
【図8】



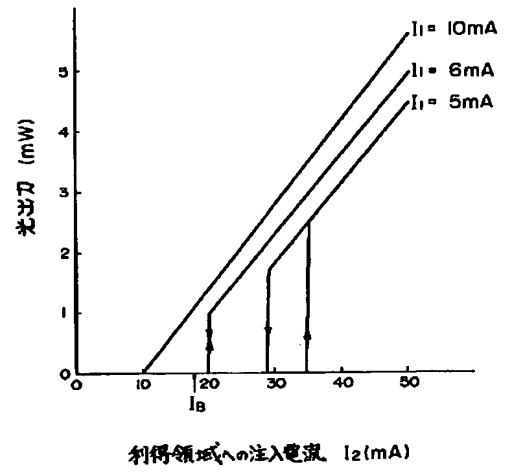
【図10】



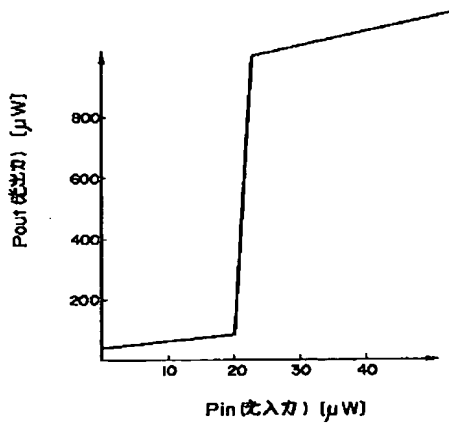
【図11】



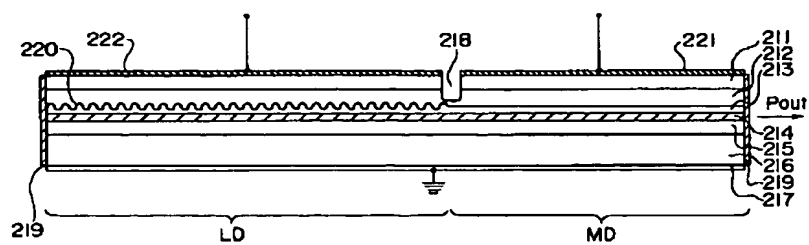
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.³
H01S 3/108

識別記号

片内整理番号
8934-4M

F I

技術表示箇所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.